

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 23320060153390

UDC _____

厦 门 大 学

博 士 学 位 论 文

半熔锥光纤耦合高Q超窄线

宽Er:ZBLALiP球微腔回廊模激光器

Half-taper Fiber Coupled High-Q and
Ultra-narrow-linewidth Er:ZBLALiP Microspherical
Cavity Whispering Gallery Mode Lasers

肖磊

指导教师姓名: 蔡志平 教授

合作导师姓名: P. Féron 博士(法国)

专 业 名 称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2010年6月

论文答辩日期: 2010年7月

学位授予日期: 2010年9月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2010年6月

厦门大学博硕士论文摘要库

Half-taper Fiber Coupled High-Q and Ultra-narrow-linewidth Er:ZBLALiP Microspherical Cavity Whispering Gallery Mode Lasers

Lei Xiao

Supervisor:

Prof. Zhiping Cai

Co-supervisor:

Dr. P. Féron

Department of Electronic Engineering
School of Information Science and Technology
Xiamen University

July, 2010

*Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor
in Communication and information system*

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

☐ 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

☐ 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘 要

本文报道了采用半熔锥光纤耦合Er:ZBLALiP球微腔实现高Q (8.8×10^5) 超窄线宽 (11kHz) 稳定连续输出回廊模激光。

首先对回廊模激光器的研究状况做了简要回顾, 对微腔光学特性进行讨论。建立球微腔耦合模型并对其进行分析和讨论, 获得Er:ZBLALiP球微腔和熔锥光纤有效耦合相位匹配条件。首次利用半熔锥光纤观测到模式分裂现象。

其次测出块状Er:ZBLALiP的吸收光谱, 运用McCumber和Judd-Ofelt 理论对其进行光谱分析并算出铒离子的光谱参数。研究块状Er:ZBLALiP的上转换并实现点状Er:ZBLALiP球微腔温度传感器。

然后建立参数可调滤波模型, 通过改变耦合参数并利用相位匹配条件, 实现了最大单频输出为 $6\mu\text{W}$ 的回廊模激光器。实验研究了单频回廊模激光器的激光特性。利用Er:ZBLALiP球微腔的热效应研究单频回廊模激光输出波长移动情况, 获得了斜率分别为 $10.33\text{MHz}/\mu\text{W}$ 和 $33.33\text{MHz}/\text{nm}$ 的波长移动。

接着使用两根半熔锥光纤耦合Er:ZBLALiP球微腔实现了双波长回廊模激光器并研究其激光特性。双波长回廊模激光输出拍频获得幅度波动约1dB、频率波动为300kHz、线宽为22kHz和频率为10.86GHz的微波信号。

最后理论研究回廊模激光器的阈值与线宽特性。建立延时自外差干涉系统模型并推导出拍频信号功率谱。推导Voigt线型曲线的实函数, 分别用Lorentzian、Gaussian和Voigt线型拟合拍频信号, 拟合结果表明Voigt线型拟合与实测拍频信号基本一致。

本文工作得到中国国家留学基金委(编号: CSC N° 2007101960)和法国国家太空研究中心项目(编号: CNES N° 60821/00)的资助。

关键词: 回廊模, 球微腔, Er:ZBLALiP, 线宽, 半熔锥光纤耦合

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

A whispering gallery mode laser with an ultra-narrow-linewidth of 11kHz and stable continuous-wave output has been obtained successfully using a half-taper fiber which coupled with a high Q of 8.8×10^5 erbium doped fluoride glass ZBLALiP microspherical cavity.

The history of theoretical and experimental studies of whispering gallery mode lasers are reviewed. The optical properties of microcavities are also discussed. The microsphere coupling system model as well as its properties are discussed respectively. The phase-matching conditions for the effective coupling between Er:ZBLALiP microsphere and taper fiber are obtained. The mode splitting has been observed firstly using a half-taper fiber.

The absorption spectrum of Er:ZBLALiP bulk samples are measured. McCumber and Judd-Ofelt theories have been used to analyse the spectroscopic properties of the Er:ZBLALiP. We have carried out theoretical and experimental investigation on upconversions in the Er:ZBLALiP. A micrometer-sized point temperature sensor in the Er:ZBLALiP microsphere are proposed.

A model of optical parametric filter is established. A single-frequency whispering gallery mode laser with the maximum output of $6\mu\text{W}$ has been proposed. The characteristics of single-frequency whispering gallery mode laser have been studied. The thermal effects of Er:ZBLALiP microspherical resonators and properties of wavelength shift in single-frequency whispering gallery mode laser have also been studied. The wavelength shift of $10.33\text{MHz}/\mu\text{W}$ -slope and $33.33\text{MHz}/\text{nm}$ -slope have been obtained respectively.

A dual wavelength whispering gallery mode laser has been obtained successfully using two half-taper fibers. The properties of dual wavelength whispering gallery mode laser have also been studied. We have obtained a stable dual wave-

length whispering gallery mode laser output and beat note in the photodiode at 10.86GHz with intensity fluctuation range of 1dB, frequency fluctuation range of 300kHz and linewidth of 22kHz.

The properties of threshold and linewidth in the Er:ZBLALiP whispering gallery mode laser have been studied theoretically. A model of laser linewidth test system has been established by introducing a delayed heterodyne interferometer. The power spectrum of beat note in the photodiode has been derived from this model. Voigt profile with real function has been derived to describe the beat note. The three profiles, Lorentzian, Gaussian and Voigt profile, are used to fit the spectrum of the beat note respectively. The Voigt profile is satisfied well with the experimental results.

The research of this dissertation is supported by the Chinese Scholarship Committee with convention N° 2007101960 and the French Centre National d'Études Spatiales with convention N° 60821/00.

Keywords: Whispering Gallery Mode, Microspherical Cavity, Er:ZBLALiP, Linewidth, Half-taper Fiber Coupling

目 录

摘要	i
Abstract	iii
目录	v
第一章 绪论	1
1.1 回廊模激光器研究进展	1
1.2 研究背景、意义与动机	7
1.3 本文的结构安排	8
第二章 微腔的光学特性	11
2.1 引言	11
2.2 回廊模	12
2.2.1 回廊模的光线理论	12
2.2.2 回廊模的波动理论	18
2.2.3 球微腔回廊模的4个量子参量: n, ℓ, m, p	23
2.3 品质因子	28
2.4 精细度	32
2.5 模式体积	33
2.6 本章小结	33
第三章 熔锥光纤与球微腔的耦合系统	35
3.1 引言	35
3.2 球微腔的制备	43
3.3 熔锥光纤的制备	45

3.4	熔锥光纤与球微腔的耦合模型	47
3.5	熔锥光纤与球微腔的相位匹配	50
3.6	模式分裂现象的观察	55
3.6.1	球微腔内的模式分裂原理	55
3.6.2	模式分裂现象的实验装置及观察	57
3.7	本章小结	59
第四章	掺铒氟化物玻璃ZBLALiP光谱分析	61
4.1	Er:ZBLALiP氟化物玻璃	61
4.2	McCumber理论分析	63
4.3	Judd-Ofelt理论分析	67
4.4	频率上转换现象	74
4.5	Er:ZBLALiP点状温度传感器	78
4.5.1	绿光激发谱与温度传感模型	78
4.5.2	温度传感特性实验研究	81
4.6	本章小结	84
第五章	Er:ZBLALiP球微腔回廊模激光器	85
5.1	回廊模激光器	86
5.2	球微腔回廊模激光器的选择泵浦与参数滤波	91
5.2.1	球微腔选择性泵浦理论	91
5.2.2	参数可调滤波器模型	93
5.2.3	参数可调滤波实验	93
5.3	球微腔回廊模激光器的实验研究	96
5.3.1	球微腔回廊模激光器特性研究实验装置	96
5.3.2	荧光光谱、激光光谱和阈值	97
5.3.3	回廊模激光的线宽及其随泵浦功率变化的关系	100
5.4	双波长球微腔回廊模激光器	103
5.4.1	双波长球微腔回廊模激光器实验装置	103

5.4.2	双波长球微腔回廊模激光器的实验研究	107
5.5	单频球微腔回廊模激光器的波长移动研究	113
5.5.1	球微腔的热效应	113
5.5.2	回廊模激光器的波长移动实验研究	117
5.5.3	球微腔回廊模激光器波长移动实验改进研究	121
5.6	微型光微波源	126
5.6.1	光微波信号产生机制	127
5.6.2	光微波源特性实验研究	129
5.7	本章小结	136
第六章	球微腔回廊模激光器线宽的理论研究	139
6.1	阈值拐角与线宽变窄特性	139
6.2	延时自外差干涉激光线宽测试系统模型	145
6.3	Voigt光谱线型研究	150
6.3.1	实函数的Voigt光谱线型	151
6.3.2	Voigt光谱线型半峰半宽分析	158
6.4	延时自外差干涉实验线宽谱的拟合	161
6.5	本章小结	161
第七章	总结与展望	165
	参考文献	167
	博士期间发表论文目录	189
	致谢	191

厦门大学博士论文摘要库

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库